



Vol. 14 No. 2 (2018) Hal. 77-85
p-ISSN 1858-3075 | e-ISSN 2527-6131

ANALISIS UNJUK KERJA PROTOTIP SISTEM PENGIRIMAN DAYA NIRKABEL JENIS RESONANSI MAGNETIK MENGGUNAKAN INVERTER SETENGAH JEMBATAN DAN KUMPARAN HELIX

PERFORMANCE ANALYSIS OF SYSTEM PROTOTYPE
WIRELESS POWER DELIVERY OF MAGNETIC RESONANCE
USING HALF INVERTER BRIDGE AND HELIX COILS

Suroso*, Hari Prasetyo, Daru Tri Nugroho, dan Marlin Ibnu Qosim

*Email: suroso.te.unsoed@gmail.com

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

Abstrak— Makalah ini menyajikan hasil perancangan, pengujian dan analisis unjuk kerja prototip sistem pengiriman daya nirkabel menggunakan inverter setengah jembatan dengan teknik resonansi magnetik frekuensi 100 kHz. Pengiriman daya menggunakan rangkaian resonansi magnetik bekerja memindahkan energi listrik dari rangkaian pengirim ke rangkaian penerima melalui resonator yang beroperasi pada frekuensi resonansi. Pada penelitian ini bagian pengirim dan penerima menggunakan kumparan kawat tembaga berdiameter 1,2 mm berbentuk kumparan *helix* dengan diameter kumparan 10 cm. Catu daya pengirim menggunakan sumber DC 12 V dan dihubungkan dengan inverter setengah jembatan. Sisi penerima dihubungkan dengan rangkaian penyearah diode yang dilengkapi dengan filter untuk mendapatkan tegangan DC. Rangkaian inverter dibuat menggunakan saklar semikonduktor daya MOSFET. Berdasarkan hasil pengujian prototip di laboratorium diperoleh bahwa efisiensi pengiriman daya berkurang terhadap jarak. Semakin jauh jarak antara kumparan pengirim terhadap kumparan penerima, maka efisiensinya menurun. Frekuensi sinyal yang dikirim relatif tetap meskipun jarak kumparan pengirim terhadap kumparan penerima berubah. Sudut antara kumparan penerima terhadap kumparan pengirim yang memberikan efisiensi terbaik adalah 0°. Selain itu, untuk hasil pengujian ketika terdapat media yang bersifat isolator di antara kumparan pengirim dan penerima maka transfer daya tidak terganggu. Tetapi ketika terdapat media konduktor maka daya akan terserap oleh konduktor tersebut sehingga efisiensi semakin kecil.

Kata kunci — Daya listrik, tanpa kabel, resonansi.

Abstract— This paper presents a performance analysis of a wireless power transfer system prototype using a half-bridge inverter circuits with 100 kHz magnetic resonances technique. Wireless power transfer using magnetic resonance circuit works to transfer electrical energy from the transmitter circuits to the receiver circuits through resonance mode. In this paper, the transmitter and receiver circuits use a helixcoil-shaped of 1.2 mm copper coil. The helixcoil-shaped coil has a diameter of 10 cm. The dc power source voltage of the transmitter circuits is 12 V. This power supply is connected to the half-bridge inverter circuits. The receiver is connected to a rectifier circuit equipped with a filter to obtain the dc voltage. The inverter circuit is built using power MOSFET switches. Based on the test results of the laboratory prototype, it shows that the efficiency of the wireless power transfer will decrease when the distance between the coils increase. The farther the distance between transmitter and receiver coils, the efficiency will exsiccate. The frequency of the transferred signal is relatively constant even the distance is changed. The angle of the receiver and transmitter coils providing the highest efficiency is 0 degree. In addition, when there is an object between the transmitter and receiver coils, if the object is an insulator material the power transfer will not be disturbed. However, if a conductor material is placed between the two coils, the efficiency of the power transfer will decrease.

Keywords — Electric power, wireless, resonance.

I. PENDAHULUAN

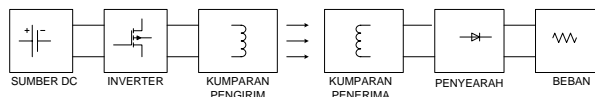
Saat ini, energi listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan utama manusia. Peralatan listrik yang tersedia masih menggunakan kabel listrik untuk memperoleh suplai listrik dari sumber catu daya baik dalam bentuk listrik searah (DC) maupun listrik bolak-balik (AC). Salah satu kekurangan kabel listrik sebagai media penyalur energi listrik adalah terbatasnya mobilitas [1]. Selain itu rugi-rugi daya yang terjadi dalam penghantaran listrik menggunakan penghantar kabel merupakan permasalahan lain [2].

Salah satu alternatif solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan teknologi pengiriman daya tanpa menggunakan kabel atau nirkabel. Teknik pengiriman daya nirkabel yang umum digunakan antara lain kopling induktif antara dua kumparan terpisah, pengiriman daya menggunakan gelombang mikro dan pengiriman daya dengan menggunakan laser [3]. Penelitian-penelitian saat ini banyak dilakukan pada transfer energi jarak dekat dan menengah, karena lebih mudah diaplikasikan [4] [5].

Metode yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perancangan, pembuatan prototip dan pengujian prototip di laboratorium. Perancangan dilakukan dengan menggunakan software proteus dan power PSIM. Sistem pengiriman daya tanpa kabel ini dibuat prototipnya di laboratorium serta diuji unjuk dianalisis unjuk kerjanya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Pengiriman daya tanpa kabel terdiri dari dua bagian utama, yakni *transmitter* (pengirim) dan *receiver* (penerima). Diagram pengiriman daya tanpa kabel ditunjukkan pada Gambar-1. Bagian pengirim berfungsi membangkitkan medan magnet sedangkan bagian penerima berfungsi menerima medan magnet yang ditransmisikan pengirim [5].

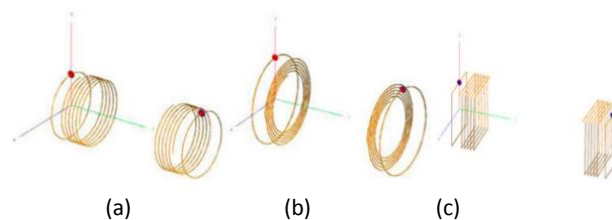


Gambar-1. Sistem pengiriman daya tanpa kabel.

Fungsi dari penggunaan inverter adalah agar tegangan dan frekuensi sinyal dapat diatur sebelum sinyal ditransmisikan. Seperti diketahui bahwa inverter memiliki kemampuan untuk mengatur tegangan dan frekuensi sinyal AC keluarannya berdasarkan sinyal modulasi atau penyulutannya. Salah satu konfigurasi inverter satu fase adalah

inverter setengah jembatan (*half-bridge inverter*). Inverter ini bekerja mengubah tegangan DC menjadi tegangan bolak-balik AC dua tingkat. Rangkaian inverter ini tersusun dari dua buah sumber tegangan dc dan dua buah saklar semikonduktor [6]. Kombinasi pensaklaran dari saklar ini akan menghasilkan tegangan keluaran AC.

Kumparan pengirim dan penerima dapat dibuat dari beberapa lilitan kawat tembaga dengan bentuk dan diameter tertentu. Pertimbangan dalam menentukan jumlah lilitan kawat tembaga adalah induktansi kumparan dan reaktansi kumparan [7].



Gambar-2. Bentuk-bentuk kumparan (a) helix, (b) planar spiral, (c) square helix [7].

Diameter kumparan mempengaruhi efisiensi transfer energi dan dapat membuat jarak transmisi menjadi lebih jauh lagi. Semakin besar diameter kumparan pengirim maka jarak transmisi juga menjadi lebih besar. Sementara bentuk kumparan (*helix coil*, *planar spiral coil*, atau *square helix coil*) seperti ditunjukkan pada Gambar-2 mempengaruhi efisiensi, *bandwidth* dan jarak transmisi maksimum [7].

Resonansi adalah peristiwa yang menyebabkan sebuah objek bergetar secara bebas pada frekuensi tertentu. Ketika terjadi resonansi pada sebuah sistem maka sistem tersebut akan beresonansi dengan amplitudo yang tinggi. Frekuensi yang menyebabkan sistem beresonansi disebut sebagai frekuensi resonansi [8].

Dalam sebuah rangkaian, resonansi terjadi ketika komponen reaktansi induktif bernilai sama dengan reaktansi kapasitif. Hal ini berarti kapasitor dan induktor yang terhubung dalam rangkaian listrik akan beresonansi pada frekuensi tertentu sehingga nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitifnya bernilai sama. Persamaan frekuensi resonansi ditunjukkan pada persamaan (1).

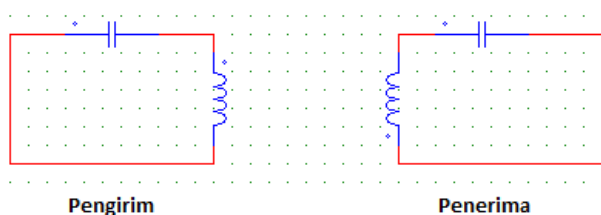
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

dengan:

- f_r = Frekuensi resonansi (Hz)
- L = Induktansi (H)
- C = Kapasitansi (F)

Pengiriman daya tanpa kabel dengan menggunakan metode kopling induktif memiliki banyak kekurangan, antara lain jarak transmisi daya yang hanya berkisar beberapa milimeter, dan efisiensi transmisi yang kurang baik [9] [10].

Jika kumparan pengirim dan penerima dihubungkan dengan kapasitor secara seri seperti ditunjukkan pada Gambar-3 dan diatur agar beresonansi pada frekuensi tertentu, maka akan terbentuk kopling resonansi magnetik. Dengan metode ini *bandwidth* medan magnet akan meningkat dan jarak transmisi dapat lebih jauh [11] [12].



Gambar-3. Rangkaian resonansi magnetik.

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIP

A. Perancangan dan Pembuatan Rangkaian Resonator

Kumparan pengirim dan penerima terdiri dari 10 lilitan dengan diameter kumparan 10 cm. Pemilihan jumlah lilitan dan diameter kumparan didasarkan pada kemampuan transfer daya dan kemudahan dalam pembuatan. Semakin banyak jumlah kumparan maka daya maksimum dan jarak transfer maksimum yang dapat ditransfer akan semakin meningkat. Kumparan pengirim dan penerima rancangan penulis ditunjukkan pada Gambar-4.



Gambar-4. Kumparan pengirim dan penerima.

Peneliti menggunakan perekat pada beberapa bagian kumparan untuk mempertahankan bentuknya.

Induktansi kumparan diukur dengan menggunakan LCR meter. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh nilai induktansi kumparan sebesar 19,2 μH .

Untuk komponen kapasitor dari rangkaian resonator kemudian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan diperoleh 133 nF.

Untuk menyesuaikan dengan jenis kapasitor yang tersedia di pasaran dan agar rangkaian resonator tidak menarik arus terlalu besar maka nilai kapasitor dipilih tidak terlalu dekat dengan hasil perhitungan, yakni 100 nF.

B. Perancangan dan pembuatan rangkaian inverter

Kecepatan pensaklaran yang mampu diberikan MOSFET dapat diketahui dari nilai *turn-on delay time* dan *rise time* yang tertera pada *datasheet*. Semakin kecil nilai keduanya maka semakin tinggi frekuensi pensaklaran yang mampu diberikan. MOSFET mempunyai resistansi *drain-source*. Resistansi ini akan berpengaruh ketika MOSFET dalam keadaan *on*. Semakin tinggi resistansi *drain-source* maka semakin besar disipasi daya yang terjadi pada MOSFET ketika *on*. Nilai resistansi *drain-source* MOSFET dapat diketahui dari *datasheet*.

Parameter lain yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis MOSFET adalah total muatan pada gate. Semakin tinggi muatan, maka tegangan *gate-source* yang diperlukan untuk membuat MOSFET *turn on* harus semakin tinggi. Berdasarkan berbagai pertimbangan ini, peneliti memutuskan untuk menggunakan MOSFET IRF540. MOSFET jenis ini memiliki tegangan *drain-source* maksimum sebesar 100 V dengan total muatan gate yang tidak terlalu besar, yakni 72 nC. Selain itu IRF540 memiliki *turn-on delay time* dan *rise time* yang cukup kecil, yakni 11 ns dan 44 ns dengan resistansi *drain-source* 0,77 Ω .

Setelah menentukan jenis MOSFET yang akan digunakan, maka selanjutnya adalah merancang *gate drive circuit*. Seperti diketahui bahwa frekuensi keluaran inverter ditentukan oleh frekuensi sinyal modulasinya dan tegangan keluarannya dipengaruhi oleh *duty cycle*. Oleh karena itu yang perlu dirancang pertama adalah pembangkit gelombang kotak dengan frekuensi 100 kHz dan dengan *duty cycle* 50%. Setelah gelombang kotak bisa dibangkitkan, maka selanjutnya adalah menentukan *gate driver IC* untuk menguatkan tegangan gelombang kotak.

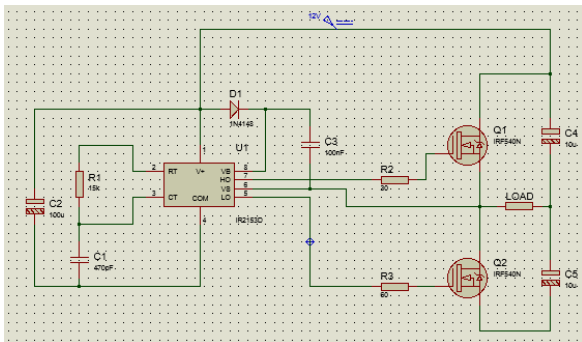
Untuk memudahkan perancangan, peneliti memilih menggunakan *gate driver IC* IR2153. IC ini merupakan *self-oscillating*, sehingga hanya dengan satu IC dapat langsung membangkitkan gelombang

kotak sekaligus menguatkan amplitudonya serta memberikan dua jenis keluaran, yakni *inverting* dan *non-inverting*. Rangkaian gate driver IC 2153 ditunjukkan pada Gambar-5. Frekuensi osilasi IR2153 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Persamaan ini diketahui dari *datasheet* IR2153. Jika kapasitor C_T yang ingin digunakan adalah 470 pF dan frekuensi osilasi yang diinginkan adalah 100 kHz, maka resistor R_T adalah sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{1.4 \times (R_T + 75\Omega) \times C_T} \quad (2)$$

dengan:

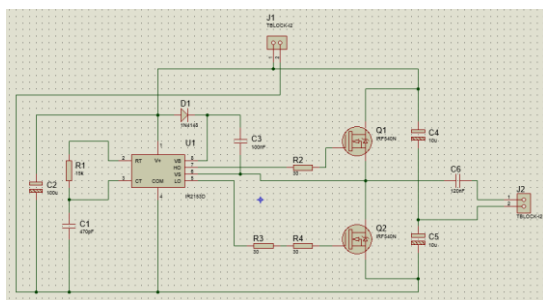
- f = Frekuensi osilasi (Hz)
- R_T = Resistansi pada pin R_T
- C_T = Kapasitansi pada pin C_T



Gambar-5. Rangkaian *gate driver* dengan IC IR2153.

C. Pembuatan Rangkaian Pengirim

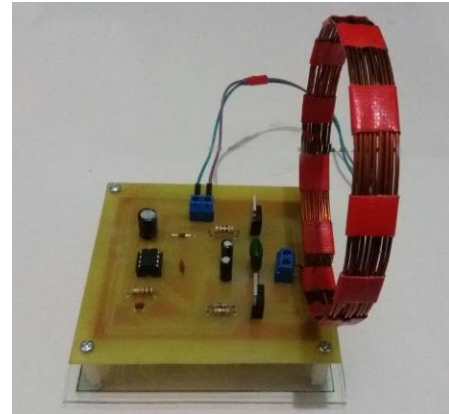
Pembuatan rangkaian pengirim dimulai dengan membuat skema rangkaian pada software Proteus ISIS seperti ditunjukkan pada Gambar-6. Karena kumparan yang digunakan berukuran besar sehingga tidak dapat dihubungkan langsung dengan rangkaian, maka diperlukan terminal block 2 pin sebagai penghubung antara rangkaian dengan kumparan. Terminal block pada sisi sumber digunakan untuk menghubungkan rangkaian dengan catu daya.



Gambar-6. Skema rangkaian pengirim.

Berdasarkan perancangan, karena resistor R_T yang digunakan menyesuaikan dengan jenis resistor yang

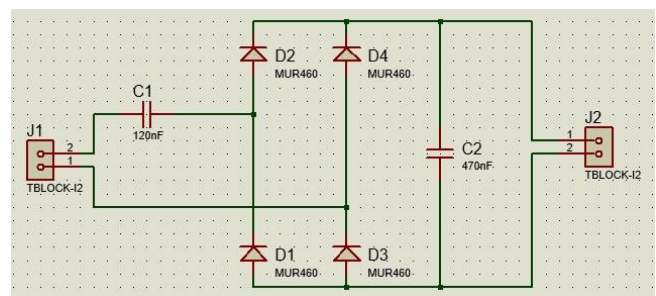
tersedia di pasaran, yakni 15 k Ω , maka frekuensi osilasi yang dihasilkan IC IR2153 menjadi 100, 813 kHz. Prototip rangkaian pengirim ditunjukkan pada Gambar-7.



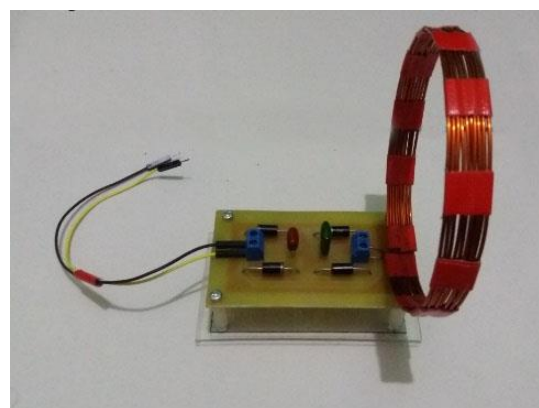
Gambar-7. Prototip rangkaian pengirim.

D. Pembuatan Rangkaian Penerima

Proses pembuatan rangkaian penerima sama seperti pembuatan rangkaian pengirim, yakni dimulai dengan membuat skema rangkaian pada software Proteus ISIS seperti ditunjukkan pada Gambar-8. Terminal block pada sisi beban digunakan untuk menghubungkan rangkaian dengan beban. Prototip rangkaian penerima disajikan dalam Gambar-9.



Gambar-8. Skema rangkaian penerima.



Gambar-9. Prototip rangkaian penerima.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Sinyal Penyulutan Inverter

Sinyal penyulutan inverter perlu diukur untuk mengetahui *duty cycle*, *dead time*, besar tegangan dan frekuensi yang masuk pada terminal gate dari MOSFET. Kesalahan pada sinyal penyulutan akan sangat mempengaruhi keluaran inverter.

Percobaan pengukuran sinyal penyulutan dilakukan tanpa menghubungkan inverter dengan sumber tegangan. *Gate driver IC* dihubungkan dengan sumber tegangan 12 V. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar-10.



Gambar-10. Pengukuran sinyal modulasi inverter.

Berdasarkan hasil pengukuran, frekuensi sinyal penyulutan adalah 106.855 kHz. Nilai ini melebihi nilai perhitungan pada perancangan rangkaian pengirim, yakni 100.813 kHz. Perbedaan nilai frekuensi antara perhitungan dengan pengukuran disebabkan karena penggunaan kapasitor C_T pada *gate driver IC* yang terlalu kecil, yakni 470 pF.

Karakteristik osilator IC IR2153 adalah seperti timer 555. Rangkaian ini menggunakan prinsip *charging* dan *discharging* kapasitor C_T kemudian membandingkannya dengan sebuah komparator untuk membangkitkan gelombang kotak. Ketika nilai kapasitor terlalu kecil, maka kapasitor akan sangat cepat terisi penuh, sehingga menghasilkan gelombang yang lebih curam. Ketika gelombang ini kemudian dihubungkan dengan komparator, maka respon yang diberikan akan memiliki frekuensi yang kurang sesuai akibat proses komparasi yang terlalu cepat.

B. Pengujian Sinyal Keluaran Inverter

Sinyal keluaran inverter merupakan bagian terpenting dalam pengiriman daya tanpa kabel karena sinyal yang dihasilkan inverter inilah yang akan

ditransmisikan melalui kumparan pada rangkaian pengirim. Sinyal keluaran inverter yang mengalami distorsi akan menyebabkan sinyal yang ditransmisikan juga mempunyai distorsi. Oleh karena itu sinyal keluaran inverter sebisa mungkin hanya mempunyai distorsi yang kecil.

Half bridge inverter mempunyai bentuk gelombang keluaran berupa gelombang kotak dengan *duty cycle* 50% pada keadaan tanpa beban. Frekuensi gelombang keluaran sama dengan frekuensi sinyal penyulutan. Tegangan maksimum gelombang keluaran adalah setengah dari tegangan masukan inverter. Pengukuran gelombang keluaran inverter dilakukan dengan menghubungkan *probe* positif osiloskop pada kaki source MOSFET sisi *high* dan *probe* negatifnya pada titik netral antara dua kapasitor. Hasil pengukuran sinyal keluaran inverter ditunjukkan pada Gambar-11.

Hasil pengukuran tegangan puncak keluaran inverter adalah 7 V. Nilai ini lebih besar dari yang seharusnya, yaitu 6 V atau setengah dari tegangan masukan inverter. Kondisi ini disebabkan karena *duty cycle* sinyal modulasi yang kurang dari 50%. *Duty cycle* sinyal modulasi yang kurang dari 50% juga mempengaruhi *duty cycle* sinyal keluaran inverter. Pada hasil pengukuran, diperoleh *duty cycle* sinyal keluaran inverter adalah 50.07%, dimana seharusnya nilai *duty cycle* sinyal keluaran inverter adalah 50%.

Frekuensi sinyal keluaran inverter terukur adalah 98.8 kHz. Seharusnya berdasarkan perhitungan frekuensi sinyal keluaran inverter adalah 100.813 kHz. Perbedaan nilai frekuensi antara perhitungan dengan pengukuran disebabkan karena penggunaan kapasitor C_T pada *gate driver IC* yang terlalu kecil, yakni 470 pF.



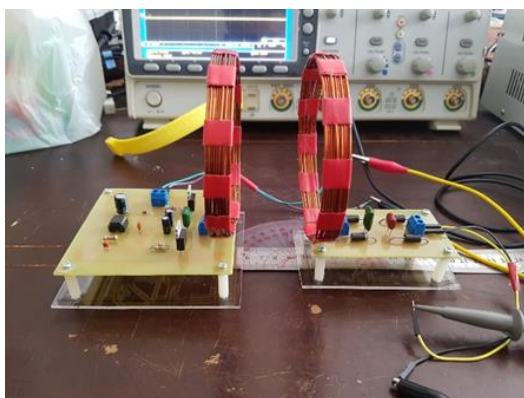
Gambar-11. Sinyal keluaran inverter.

C. Pengujian Sinyal pada Kumparan Pengirim

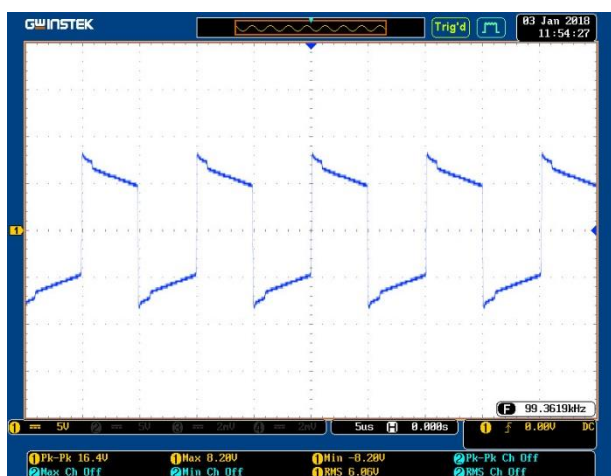
Sinyal transmisi merupakan sinyal yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim. Sinyal ini ditransmisikan melalui udara dan sampai di kumparan penerima. Pengujian prototip ditunjukkan pada Gambar-12.

Bentuk sinyal transmisi mempengaruhi kualitas transfer daya. Sinyal transmisi yang berupa gelombang sinusoidal mempunyai kualitas transfer yang lebih baik jika dibandingkan dengan gelombang kotak. Hal ini disebabkan karena sinyal sinusoidal mempunyai diskontinu yang lebih kecil dari sinyal kotak. Hasil pengukuran sinyal transmisi ditunjukkan pada Gambar-13.

Berdasarkan perancangan, karena kapasitor pada rangkaian resonator menyesuaikan dengan jenis kapasitor yang tersedia di pasaran dan untuk mencegah terjadinya penarikan arus yang terlalu besar, maka nilai kapasitor dipilih tidak terlalu dekat dengan hasil perhitungan, yakni 100 nF. Sehingga frekuensi resonansi rangkaian resonator menjadi 114,86 kHz.



Gambar-12. Pengujian prototip sistem.



Gambar-13. Sinyal pengiriman.

Perubahan bentuk pada sinyal transmisi dari sinyal keluaran inverter disebabkan karena rangkaian resonator. Ketika rangkaian resonator diatur agar beresonansi tepat pada frekuensi sinyal keluaran inverter maka bentuk sinyal transmisi seharusnya adalah gelombang sinusoidal. Namun karena dalam perancangan ini rangkaian resonator tidak diatur untuk tepat beresonansi pada frekuensi sinyal keluaran inverter, maka bentuk gelombangnya menjadi seperti ditunjukkan pada Gambar-13.

Untuk pengukuran arus beban, pengukuran dilakukan dengan cara mengukur tegangan yang muncul pada beban, kemudian arus yang mengalir pada beban dihitung dengan menggunakan Hukum Ohm. Jarak antara kumparan pengirim dengan penerima adalah 5 cm. Beban divariasikan dengan nilai 5 Ω , 10 Ω , 20 Ω , dan 30 Ω . Hasil pengukuran tegangan dan arus beban ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel-1. Hasil pengukuran tegangan dan arus beban.

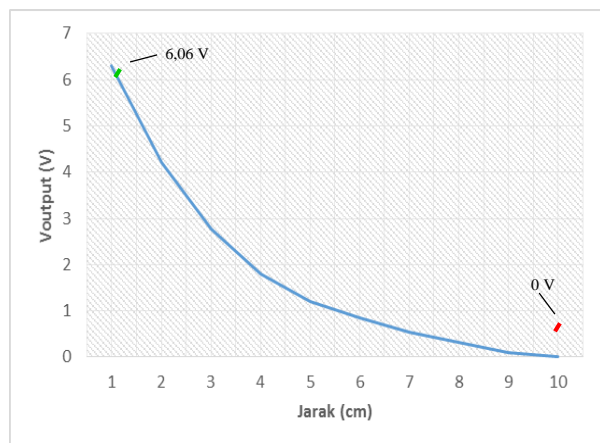
Beban (Ω)	V_{Load} (V)	I_{Load} (mA)
5	0.005	1
10	0.01	1
20	0.018	0.9
30	0.025	0.83

D. Pengujian Pengaruh Jarak Kumparan Pengirim dengan Penerima

Pada pengujian ini dilakukan dua percobaan pengujian pengaruh jarak kumparan pengirim dengan penerima, pertama pada kondisi tanpa beban dan kedua pada kondisi berbeban. Di kondisi tanpa beban, sisi penerima langsung dihubungkan dengan probe osiloskop. Sementara pada kondisi berbeban, rangkaian penyearah dihubungkan menggunakan resistor 5 Ω dan pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter.

Tegangan dan arus pada input pengirim diketahui dari nilai yang ditunjukkan pada power supply. Tegangan pada output penerima diketahui dari nilai yang ditunjukkan pada multimeter. Arus yang mengalir pada beban dihitung dengan menggunakan Hukum Ohm.

Pada jarak 1 cm, tegangan di sisi penerima dapat mendekati tegangan pada sinyal transmisi yang ditunjukkan pada Gambar-14, yakni 6.06 V. Semakin jauh jarak kumparan pengirim dengan penerima, maka tegangan pada output penerima semakin kecil. Pada jarak 10 cm, output tegangan penerima adalah 0 V.



Gambar-14. Grafik jarak terhadap tegangan *output* pada kondisi tanpa beban.

Tabel-2. Hasil pengukuran pengaruh jarak kumparan pada kondisi berbeban.

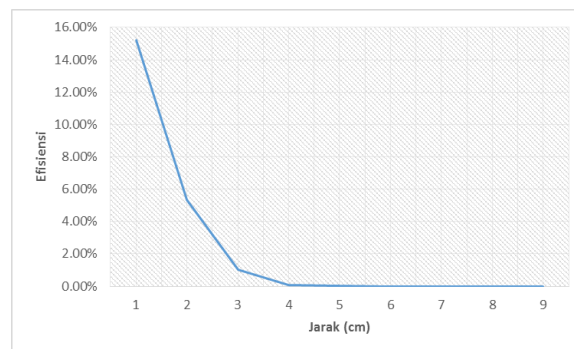
Jarak	V _{input}	I _{input}	V _{Output}	I _{Output}
1	12	0.09	0.907	0.1814
2	12	0.07	0.486	0.0972
3	12	0.06	0.193	0.0386
4	12	0.05	0.044	0.0088
5	12	0.05	0.006	0.0012
6	12	0.05	0.001	0.0002
7	12	0.05	0	0
8	12	0.05	0	0
9	12	0.05	0	0
10	12	0.05	0	0

Daya pada sisi pengirim adalah perkalian tegangan input dengan arus input. Daya pada sisi penerima adalah perkalian tegangan output dengan arus output. Faktor yang mempengaruhi turunnya efisiensi adalah rugi-rugi.

Rugi-Rugi ini terdiri dari rugi pada kumparan dan rugi sasar. Rugi pada kumparan dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada kumparan dan resistansi kumparan. Sementara rugi sasar disebabkan karena fluks yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim tidak semuanya memotong kumparan penerima, sehingga menghasilkan tegangan induksi yang lebih kecil.

Selain itu, penurunan efisiensi juga disebabkan karena dikontinu yang tinggi pada sinyal transmisi serta drop tegangan pada rangkaian resonator. Hasil pengujian efisiensi ditunjukkan dalam Gambar-15.

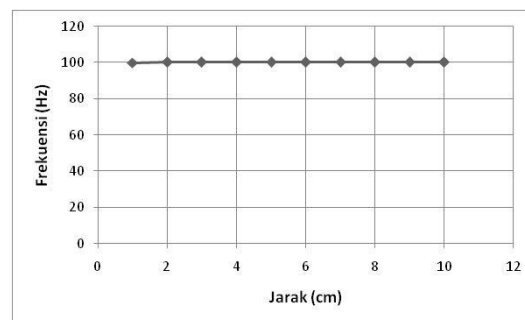
Sedangkan hasil pengukuran frekuensi sinyal transmisi terhadap perubahan jarak kumparan pengirim dengan kumparan penerima ditunjukkan pada Gambar-16.



Gambar-15. Hubungan jarak terhadap efisiensi.

Sisi penerima dihubungkan dengan beban 5Ω . Pengukuran frekuensi dilakukan dengan menghubungkan *probe* osiloskop pada kumparan pengirim.

Berdasarkan Gambar-16 dapat diketahui bahwa meskipun jarak antara kumparan penerima dengan kumparan pengirim semakin jauh, frekuensi sinyal transmisi relatif tetap. Hal ini menunjukkan bahwa jika tegangan yang muncul pada sisi penerima berkurang ketika jarak antara kumparan penerima dengan kumparan pengirim semakin jauh bukan disebabkan oleh rangkaian resonator yang tidak beresonansi sehingga tegangan yang muncul rendah, melainkan disebabkan karena fluks yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim tidak dapat menjangkau kumparan penerima.

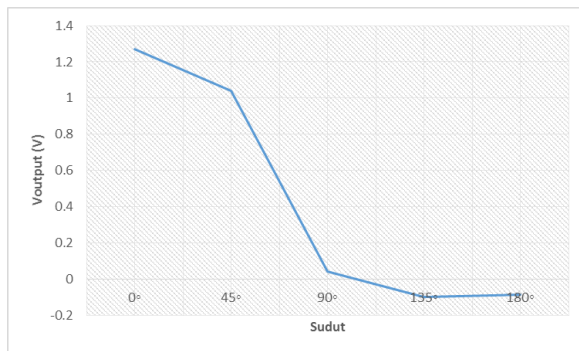


Gambar-16. Hubungan frekuensi sinyal terhadap jarak.

E. Pengujian Pengaruh Sudut Kumparan Penerima terhadap Kumparan Pengirim

Hasil pengujian pengaruh sudut kumparan penerima terhadap kumparan pengirim disajikan pada Gambar-17. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa pengirim daya terbaik terjadi ketika sudut 0° . Kondisi ini disebabkan karena pada sudut 0° fluks yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim dapat memotong kumparan penerima dengan baik. Ketika sudut kumparan penerima terhadap kumparan pengirim berubah, fluks yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim tidak

memotong kumparan penerima dengan baik, sehingga tegangan yang muncul pada output penerima menjadi rendah. Atau dengan kata lain, perubahan sudut kumparan penerima terhadap pengirim menyebabkan meningkatnya rugi sasar.



Gambar-17. Hubungan sudut kumparan terhadap tegangan keluaran.

F. Pengujian Penempatan Benda antara Kumpan Pengirim dengan Penerima

Pada pengujian ini digunakan dua jenis benda uji, yakni kertas dan pelat seng berukuran 15 cm x 15 cm. Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah ada pengaruh ketika terdapat benda antara kumparan pengirim dan penerima terhadap output tegangan. Pengujian dilakukan dengan jarak antara kumparan pengirim dan penerima 5 cm dan benda uji diletakan di tengah. Sudut antara kumparan pengirim terhadap kumparan penerima dibuat tetap 0°. Pengukuran dilakukan dengan memasang *probe* osiloskop pada output penerima. Hasil pengujian penempatan benda uji antara kumparan pengirim dengan kumparan penerima ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel-3. Pengujian penempatan benda antara kumparan pengirim dengan penerima.

Benda Uji	Tegangan Diterima (V)
Kertas	1,27
Plat seng	-0,216

Sinyal yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim pada dasarnya adalah gelombang elektromagnet. Ketika gelombang elektromagnet mengenai benda yang bersifat isolator, dalam hal ini adalah kertas, maka gelombang elektromagnet akan diteruskan. Sedangkan ketika gelombang elektromagnet mengenai benda yang bersifat konduktor, dalam hal ini adalah pelat seng, maka energi gelombang elektromagnet akan diserap oleh pelat seng tersebut.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa efisiensi transfer daya berkurang terhadap jarak. Semakin jauh jarak antara kumparan pengirim terhadap kumparan penerima, maka efisiensi transfer daya akan menurun. Frekuensi sinyal transmisi relatif tetap meskipun jarak kumparan pengirim terhadap kumparan penerima divariasikan. Sudut kumparan penerima terhadap kumparan pengirim yang memberikan output tegangan terbaik adalah 0°. Kondisi ini disebabkan karena pada sudut 0° fluks yang ditransmisikan oleh kumparan pengirim dapat memotong kumparan penerima dengan baik. Selain itu, ketika terdapat benda yang bersifat isolator di antara kumparan pengirim dan penerima maka transfer daya tidak akan terganggu. Tetapi ketika terdapat benda yang bersifat konduktor maka daya akan terserap oleh media konduktor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kaur, N. and Monga, S., 2014, Comparisons of Wired and Wireless Networks: A Review, International Journal of Advanced Engineering Technology, vol. 5, no. 2, pp. 34-35, 2014.
- [2]. Syaifurrahman, 2014, Pengaruh Dimensi Kumpan Terhadap Efisiensi Energi Pada Sistem Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel, ELKHA, vol. 6, no. 2, pp. 10-14.
- [3]. El Rayes, M. M., Nagib, G. and Abdelaal, W. G. A., 2016, A Review on Wireless Power Transfer, International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 40, no. 5, pp. 272-280.
- [4]. Supriyanto, T. and Wulandari, A., 2015, Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Metode Multi-Magnetic Resonator, POLITEKNOLOGI, vol. 14, no. 2.
- [5]. Singh, S. K., Hasarmani, T. S. and Holmukhe, R. M., 2012, Wireless Transmission of Electrical Power Overview of Recent Research & Development, International Journal of Computer and Electrical Engineering, vol. 4, no. 2, pp. 207-211.
- [6]. Rashid, M. H., Power Electronics Handbook Second Edition, San Diego: Elsevier, 2007.
- [7]. Xinzh et al, 2014, Effects of coil shapes on wireless power transfer via magnetic resonance coupling, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 28, no. 11, pp. 1316-1324.
- [8]. Cannon, B. L., Hoburg, J. F., Stancil, D. D. and Goldstein, S. C., 2009, Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers, IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 24, no. 7, pp. 1819-1825.
- [9]. Duong, T. P. and Lee, J. W., 2011, Experimental Results of High-Efficiency Resonant Coupling Wireless Power Transfer Using a Variable Coupling Method, IEEE

Microwave and Wireless Components Letters, vol. 21, no. 8, pp. 442-444.

- [10]. Kurs et al, 2007, Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, *SCIENCE*, vol. 317, pp. 83-86.
- [11]. Panggabean, B, M, Halomoan, H. and Purwasih, N., 2014, Perancangan Sistem Transfer Energi Secara Wireless Dengan Menggunakan Teknik Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik, *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 2, no. 2, p.p. 1-8.
- [12]. Giovanni P., Ugo R. and Leonardo S. 2013, Experimental Analysis of Wireless Power Transmission with Spiral Resonators, *ENERGIES*, vol. 6, p.p. 5887-5896.